

## 細格子體系의 黃海 및 東支那海 潮汐模型의 開發 Development of Fine-grid Numerical Tidal Models of the Yellow Sea and the East China Sea

崔 秉 昊\*  
Byung Ho Choi\*

**要 旨** : 本 研究의 長期的인 目的은 黃海와 東支那海 陸棚에서의 中規模의 循環 力學을 調查하는 데 있다. 슈퍼컴의 登場과 흐름의 解像力을 提高시키기 위해 全 陸棚海域을 緯度上 1/15度, 經度上 1/12度 格子間隔을 갖는 數值解析模型을 樹立하였다. 첫 段階로서 陸棚解의 優勢한 潮汐現象인 主太陰半日週潮의 潮汐體系를 算定하였다. 初期結果가 提示되었으며 追後의 模型改善을 위한 討議를 하였다.

**Abstract** □ The objectives of this multiyear research are directed toward the investigation of mesoscale circulation dynamics in the Yellow Sea and the East China Sea. With the advent of Supercomputers and increasing necessity of resolving the flow with enough details, a hydrodynamic numerical model of the East China Sea has been developed with resolution of 1/15° latitude by 1/12° longitude covering the entire continental shelf. As a first step M<sub>2</sub> tidal regime representing the dominant tidal conditions of the shelf was computed. Preliminary results are presented and discussions for further developments are presented.

### 1. 緒 論

黃海 및 東支那海는 海洋物理學의 成分 및 舉動이 時空의으로 變化가 甚한 海洋體系이다. 이 陸棚海의 主要한 動의 外力要素는 潮汐, 海面風 및 黑潮(Kuroshio)인데 그 중에서 潮汐現象은 가장 複雜한 樣相을 띄운다. 東支那海 陸棚體系에 있어서 海水循環 및 潮汐循環은 海水溫度 및 制限된 海洋資料들에 의해 推論된 Uda(1934)의 循環概略圖 및 Ogura(1933)의 潮汐圖에 의해 定性的으로 說明되어 왔다.

近年의 이 海域의 潮汐循環 및 海水循環을 力學原理에 立脚한 數值模型들에 의해 接近하는 一連의 研究가 1980年代 初半부터 活潑하게 시작되고 있다. Hsueh와 Romea(1983)의 研究는 1980~81年 期間의 海水循環을 數值模型, 氣象資料 및 우리나라 西海岸의 海面觀測資料에 依據 分析하여 韓半島의 南西端의 地形의 配列이 黃海의 冬季 海水循環에 중요한 役割을 하고 있음을 指摘하여 韓-美間의 長期 共同海流觀測

(Harkema and Hsueh, 1987)을 1986年 1~4月 期間에 遂行하였다. 동시에 韓-美-中共 共同海洋觀測 (Choi *et al.*, 1987) 프로그램에서 衛星追跡浮漂 및 海流의 垂直分布를 觀測하는 Acoustic Doppler Current Profiler, 現代의인 CTD 觀測體系의 運用이 1986年 期間에 遂行되었는데, 이는 1930年代 以後의 최초로 黃海全域의 대한 調查事業이었다. 現在에는 日-中共 共同研究가 黑潮資源 利用이라는 題下로 長期研究로서 遂行되고 있어 東支那海 力學의 信賴性 있는 評價가 비로소 가능한 시점에 있다.

近年의 大型컴퓨터에 의한 東支那海 數值模型 研究는 潮汐現象의 再現(Choi, 1980), 暴風(颱風) 海溢의 算定(Choi, 1984a; Choi, 1986a), 大陸棚上에서의 潮汐에너지 消散, 海底土砂의 移動(Choi, 1986b), 潮汐前線(潮境)의 形成과 生物學의 生産性과의 關聯(崔, 1984b), 東支那海의 海面變位算定을 위한 海洋衛星의 高度計 資料更正(Choi, 1986c) 및 沿岸開發 計劃에 의한 潮汐體系의 變換(崔, 1981) 등을 評價

\*成均館大學校 土木工學科(Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon Campus, Suwon, Korea)

하는데 다양하게 이용되어 왔다.

금번 CRAY-2S를 이용한 연구가 가능함에 따라 모델 격자 체계는細格子體系로서洗鍊化되어仔細한解像도를 갖는流動狀況에 대한數值實驗이容易하게되어初期結果를提示하는데 채택된細格子體系는이제까지報告된陸棚海의數值模型으로서는細密한構成을 갖는다.

## 2. 數值模型

슈퍼컴의 徹底한 利用을 염두해 둔 黃海 및 東支那海의 潮汐模型의 格子解像도는 緯度上 1/15度, 經度上 1/12度로서 北緯 38度에서 약 4海里的 格子間隔을 갖는데 既 發表된 2次元(Choi, 1980) 및 3次元(Choi, 1984b) 陸棚模型의 格子間隔을 1:3으로 全陸棚海에 걸쳐 細分化한 것이다. Fig. 1에 提示된 바와 같이 有限格子體系의 陸棚模型의 總格子要素는 35,000개인데 이 중 60%가 實際的인 計算內域에 속한다.

3次元 模型의 경우 Galerkin 方法의 基礎函數를 10個의 cosine 函數로서 採擇했으므로 東向, 北向 流速은 각기(35,000×10)개의 Dimension을 필요로하며 段階의 時間에 따라 算定이 이루어지므로 尠大한 컴퓨터 시간을 必要로 한다.

初期段階에서 主太陰半日週潮를 算定하기 위해 採擇된 計算時間間隔은 CFL 安定條件을 고려하여 69.003秒를 取하여  $M_2$  週期에 總 648번의 計算時間間隔을 形成하였다. 2次元 潮汐模型은 球面座標計上의 完全한 非線形 垂直平均된 運動方程式 및 連續方程式을 根據로 하며, 自乘型海底摩擦項을 採擇하였고 移流項에 대해 時間 및 空間的인 中央差分을 取하는 angled-derivative 技法(Robert and Weiss, 1967)을 採擇하였는데 자세한 數值解析 方法은 이미 紹介되었다(Choi, 1980). 3次元 潮汐模型은 Galerkin-Spectral 技法을 採擇하여 流速의 連續的인 垂直分布의 算定이 가능한데 이미 詳述(Choi, 1984b; Davies, 1980)되었으므로 本 稿에서는 再述치 않는다.

## 3. 模型의 結果

### 3.1 2次元 潮汐模型

細格子體系 2次元 潮汐模型에 의한  $M_2$  潮汐體系를 算定하였다. 算定結果는 等潮汐圖(等振幅 및 等遲角

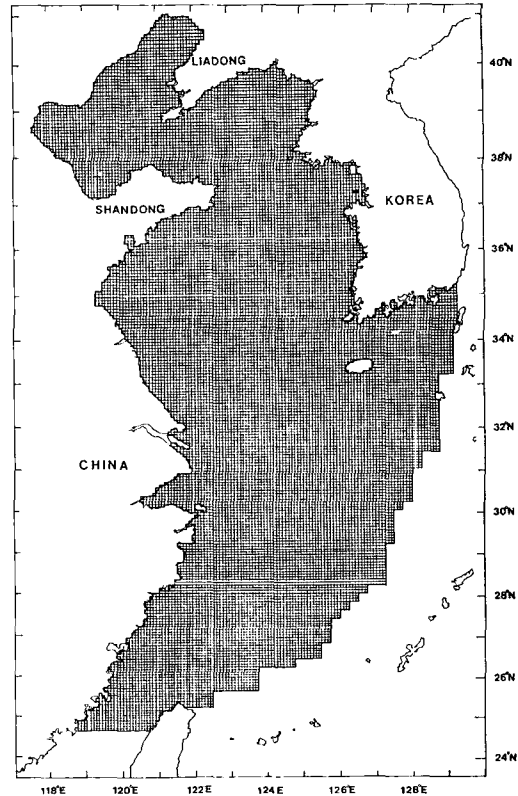


Fig. 1. Finite-difference grid system of the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf model.

圖)로 Fig. 2에 提示되었다. 算定潮位는 沿岸 觀測值와 比較할 때 前回の 模型에서의 10% 振幅誤差 및 10度位相誤差보다 全般的인 向上을 보였으며, 渤海灣의 無潮點位置는 西側으로 더 移動된 形態로서 提示되어 Ogura의 推論된 潮汐圖와는 差異를 보이나, 近來의 調查結果들과 判斷해 볼 때는 더 正確한 位置로서 생각된다. 遼東灣 西側의 無潮點은 前回の 模型結果와 같이 분명하게 提示되고 있지 않는데 遼東灣內의 近年의 實際觀測資料들이 利用可能하면 存在與否가 確認될 수 있어, 이 海域에서의 模型의 信賴性을 재평가할 수 있을 것이다. 이러한 結果는 採擇된 陸棚端의  $M_2$  境界 潮汐入力值의 信賴性을 立證한다. Fig. 3은 算定된  $M_4$  潮汐의 分布를 提示하는데, 無潮點間의 間隔은  $M_2$  潮汐間隔의 절반에 해당하는데 無潮點 形成의 形態가 잘 提示되고 있다. 이 경우 陸棚端에서의  $M_4$  潮汐의 크기는 무시할만 하여 境界潮汐에 入力되지 않은 바, 陸棚內에서 發生된 形態만을 提

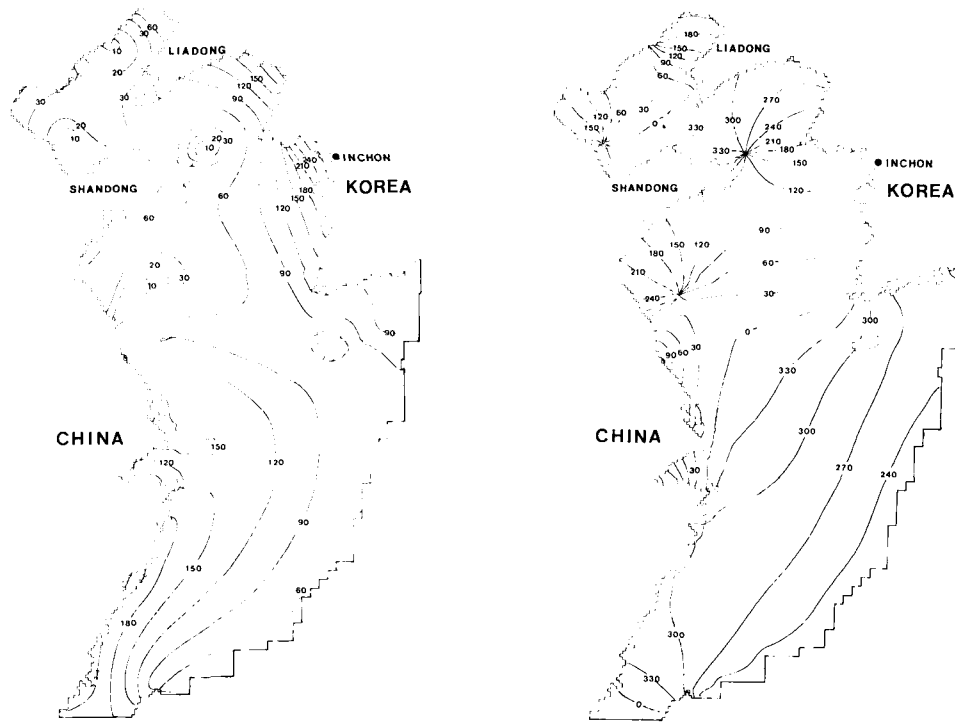


Fig. 2. Computed coamplitude (cm) and cophase (degree referred to 135 deg) lines of the  $M_2$  tide from the two-dimensional model.

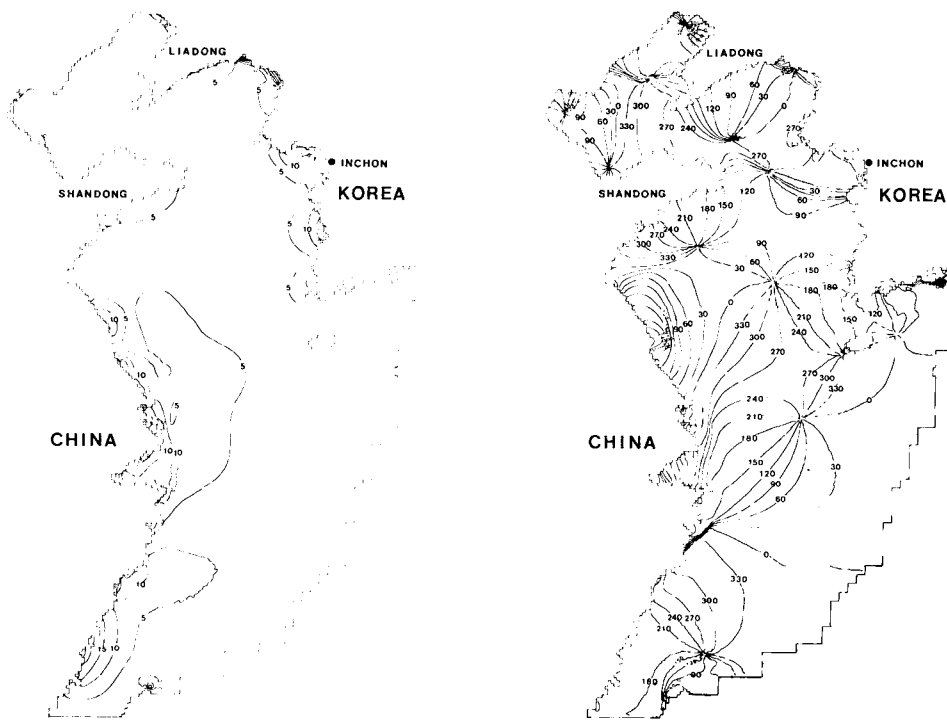


Fig. 3. Computed coamplitude (cm) and cophase (degree referred to 135 deg) lines of the  $M_4$  tide from the three-dimensional model.

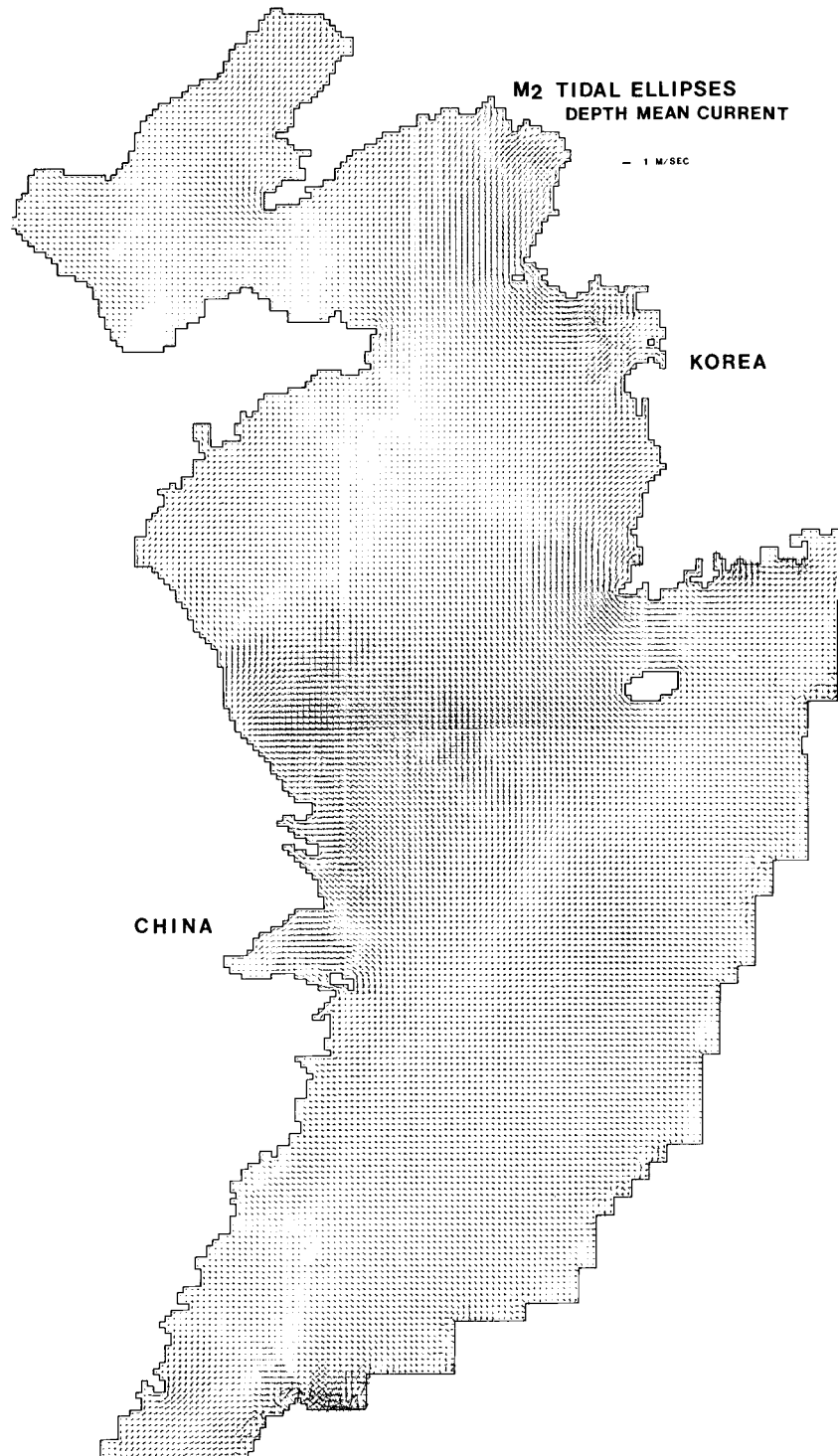


Fig. 4. Principal axes of the  $M_2$  tidal current ellipses from the two-dimensional model.

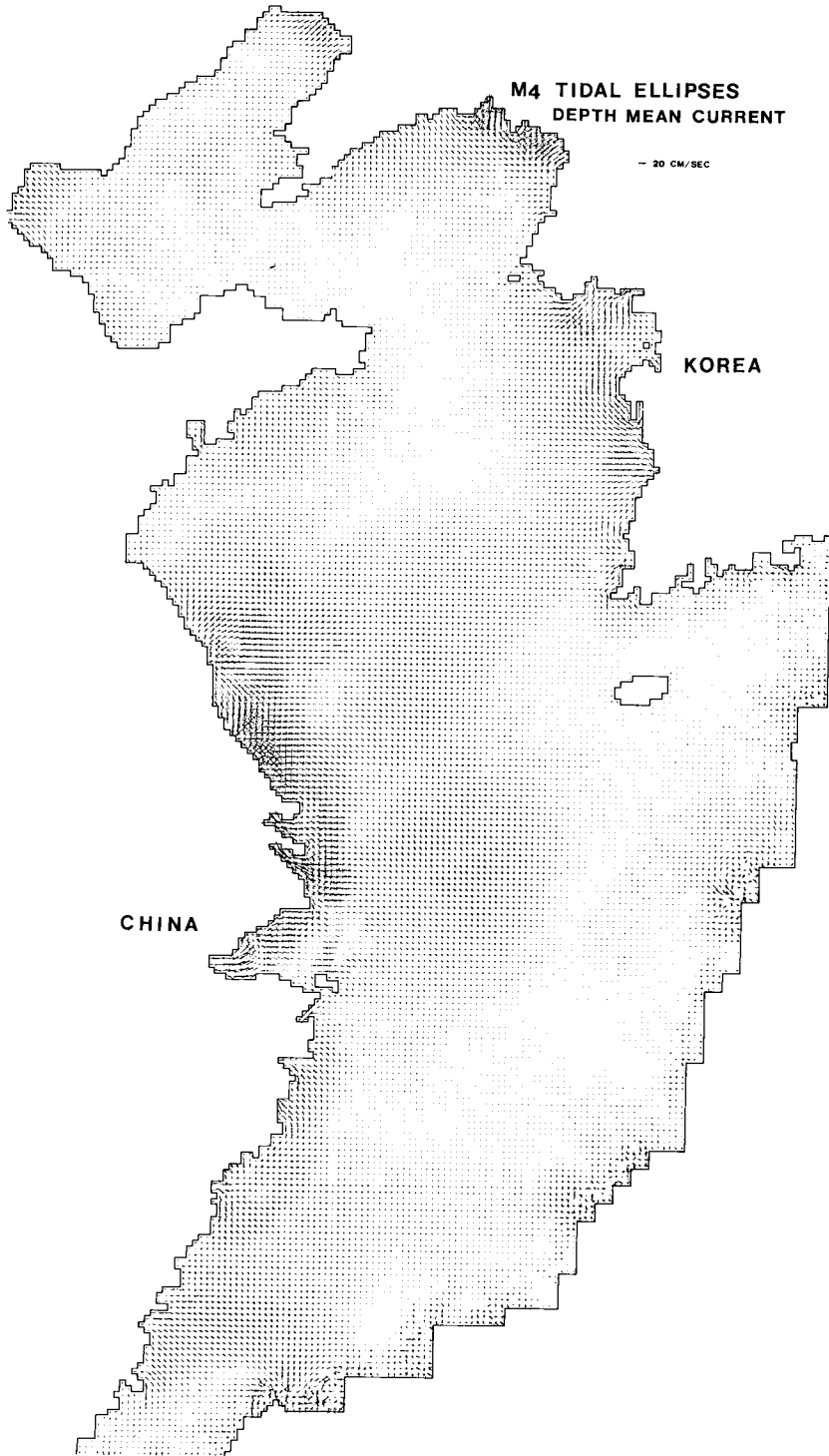


Fig. 5. Principal axes of the  $M_4$  tidal current ellipses from the two-dimensional model.

示한 것으로  $M_2$  潮位가 큰 海域에  $M_4$  潮汐도 크게 算定되는데 우리나라 西韓灣, 京畿灣, 錦江河口 및 中國沿岸의 長江河口 및 杭州灣의 河口이다.

算定된  $M_2$  潮流는 東向 및 北向流速成分을 Fourier 分析하여 振幅, 位相을 求하고 이를 合成하여 潮流 橢圓圖를 작성하였다. Fig.4와 5는 潮流強度, 主波及方向 및 潮流의 回轉方向이 提示된  $M_2$  및  $M_4$  潮流 橢圓圖로서 陸棚全域의 潮流에 의한 流動現象이 뚜렷하게 높은 에너지 環境을 提示하고 있다.

算定된 潮流의 檢證은 1986年 1~4月간의 美 Florida 州立大와 成均館大의 共同海流觀測 및 1983年 期間의 美-中共 共同海洋觀測時의 潮流觀測結果(Fig. 6)와 모델 算定值와의 比較로서 이루어져 Table 1과 2에 提示된다. 모델의 結果는 水深平均流速이며 觀測 資料는 中間水深에 位置한 流速計의 資料인데 全般의 一致를 보이고 있다.

3.2 潮汐循環

恒流循環(residual circulation)의 外力은 潮汐, 바람應力, 大氣壓勾配, 海水密度勾配 및 淡水流入 等이다. 黃海, 東支那海 陸棚에서 季節的인 바람 및 淡水 入力이 優勢하기도 하나, 全體의으로 潮汐에 의한 恒流循環이 海水擴散에서 가장 중요한 메카니즘이다. 潮流의 水平成分의 垂直分布는 氣象學的인 外力에 比해서 큰 變化가 없으므로 二次元 模型에 의한 結果는 全體的인 潮汐恒流循環의 形態를 提示한다. Fig.7과 8은 Eulerian 潮汐恒流와 1次 Langrangian 恒流(Eulerian 潮汐恒流와 Stoke drift의 和)의 二方法에 의한 恒流循環形態를 提示하는데 50 m 이하의 水深 특히 潮流가 強한 海域에서는, 形態는 다소 相

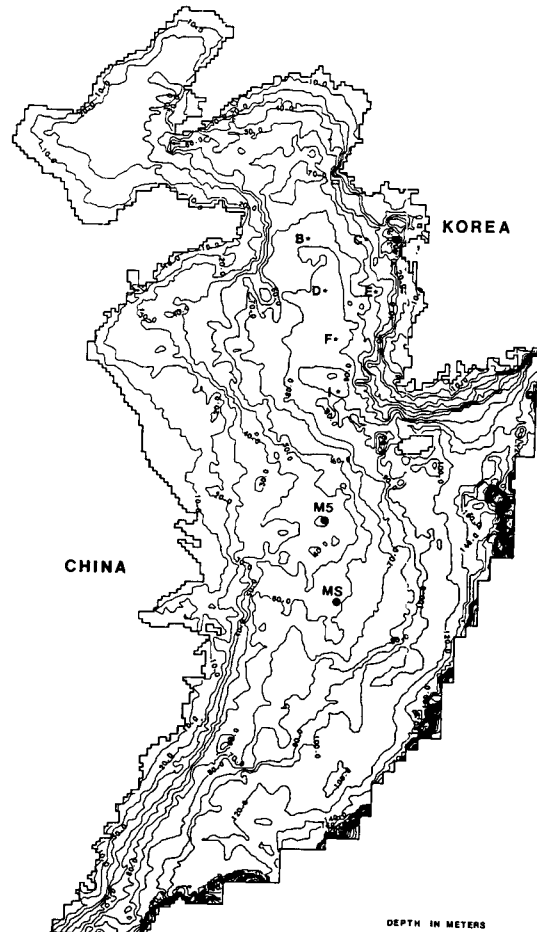


Fig. 6. Positon of current meter rigs.

異하더라도 強한 渦流가 發生하는 것이 잘 提示되어 있다. 특기할 사항은 이 陸棚海의 높은 潮汐에너지 環境에도 불구하고 沿海域을 除外한 黃海 全體의 恒

Table 1. Comparison of observed and computed amplitudes (cm/sec) and phases (degree referred to 135°E) for u and v components of  $M_2$  tidal current from the two-dimensional model

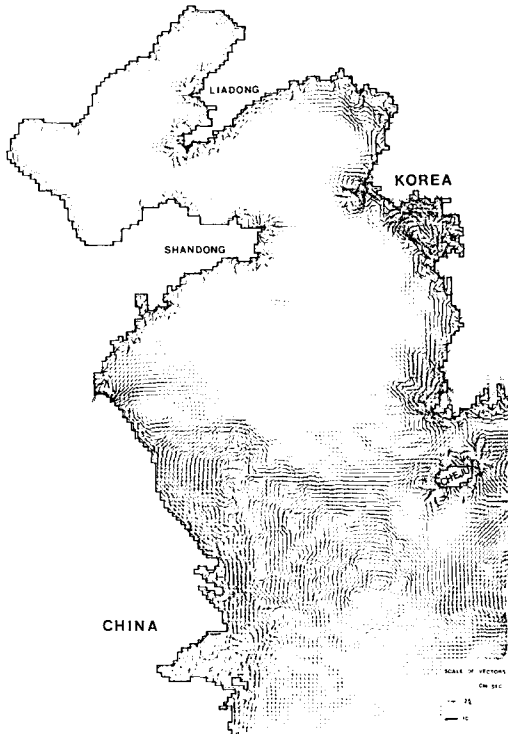
Current meter rig	Observed				Calculated			
	u		v		u		v	
	H	K	H	K	H	K	H	K
B	18.6	26	32.8	168	18.5	48	26.7	168
D	15.2	32	26.1	84	14.2	42	26.6	82
F	5.0	28	40.0	40	9.1	53	40.6	47
I	13.4	132	43.8	19	13.1	153	45.6	26
M5	47.3	107	50.8	11	58.0	93	53.9	2
MS	42.2	83	40.7	345	48.5	64	38.0	317

\*B,D,F,I data were from the Eastern Yellow Sea mooring (FSU and SKKU Joint Mooring Experiment)

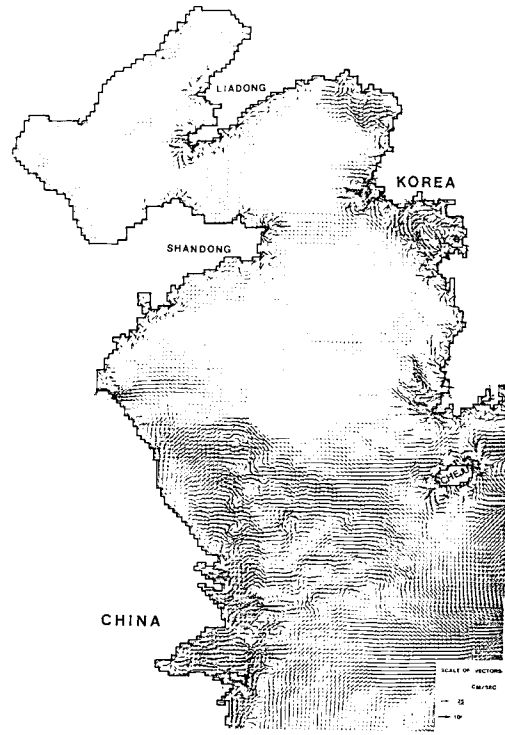
\*\*M5, MS data were from U.S.-China joint field study (Larsen, Cannon and Choi, 1985)

**Table 2.** Comparison of observed and computed amplitudes (cm/sec) and phases (degree referred to 135°E) for u and v components of M<sub>4</sub> tidal current from the two-dimensional model

Current meter rig	Observed				Calculated			
	u		v		u		v	
	H	K	H	K	H	K	H	K
B	0.8	20	0.5	162	0.8	6	1.1	207
D	1.1	11	0.3	11	0.6	20	0.5	262
F	0.7	65	0.9	345	0.9	79	1.0	356
I	1.4	0.4	31	1.2	96	1.2	19	
M5	1.4	213	0.6	173	1.7	332	1.6	215
MS	3.1	241	2.0	174	2.0	266	1.4	146



**Fig. 7.** Eulerian residual current from the two-dimensional model.



**Fig. 8.** First-order Lagrangian residual current from the two-dimensional model.

流循環은 상대적으로 微弱한 反時計方向的 循環이 算定되었다. 遼東 및 山東半島沿岸은 突出地形 影響에 의한 渦流의 形成이 뚜렷하며 西韓灣에서 강한 時計方向的 渦流과 京畿灣에서의 反時計方向的 渦流, 韓半島의 南쪽의 西側 海域에서는 일반적으로 北側恒流의 形態가 算定되고 있다.

Fig. 9와 10은 1986年 1月과 7月に 각기 黃海上에 投下된 ARGOS 衛星追跡浮標의 軌跡을 나타내고 있

다. Fig. 9에서 冬季인 1月に 投下된 濟州道 西側의 浮標는 3個月 동안 濟州道峽에 머물다 濟州 北側 翰林港에 坐礁하였으며, 北緯 35度 및 34度 30分에 投下된 두 개의 浮標로 北向 및 南向으로 分岐되어 移動하였는데 1月 中の 優勢한 北西 季節風을 考慮할 때 黃海內域에서는 오히려 逆流方向으로 移動된 것을 確認할 수 있는데 이는 전회의 模型實驗에서도 보고된 바 있다(崔, 1984). Fig. 10의 夏季 상황은 바람의

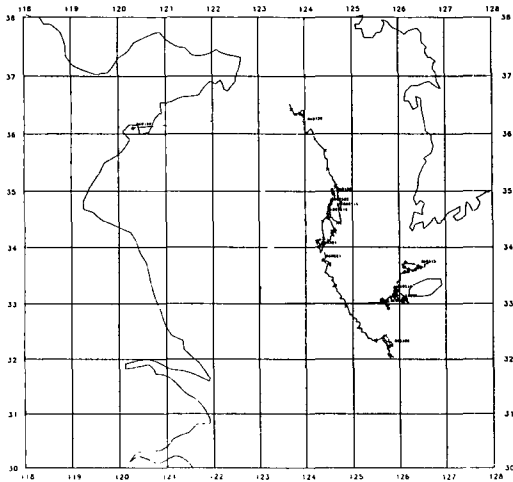


Fig. 9. Track of ARGOS satellite drifter buoys during Jan.-Mar., 1986.

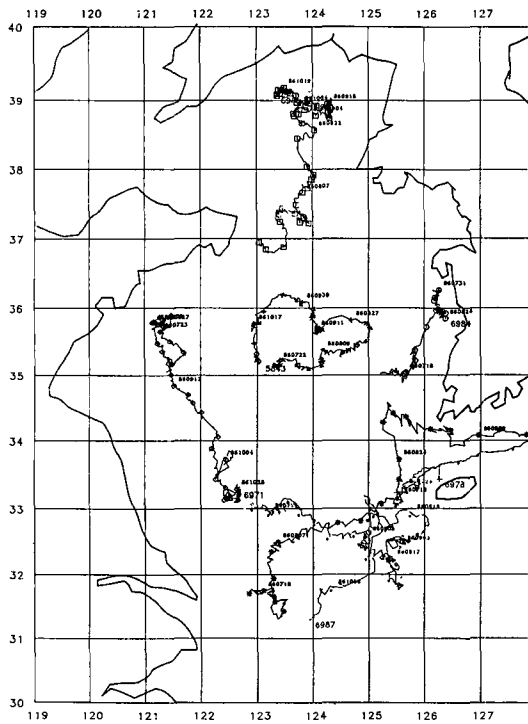


Fig. 10. Track of ARGOS satellite drifter buoys during Jul.-Oct., 1986.

影響보다 潮汐循環이 優勢인 것으로 판단되는데 山東半島 東側의 浮標는 北上하였으며 黃海 中部의 浮標는 3個月 期間에 걸친 反時計方向의 緩速의 移動을 하였으며 山東半島 南側의 浮標는 南東方向의

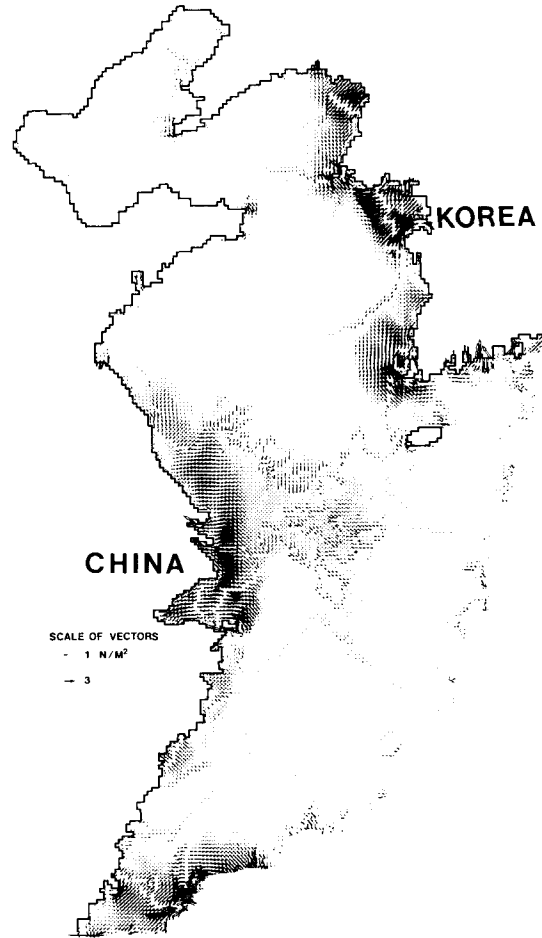


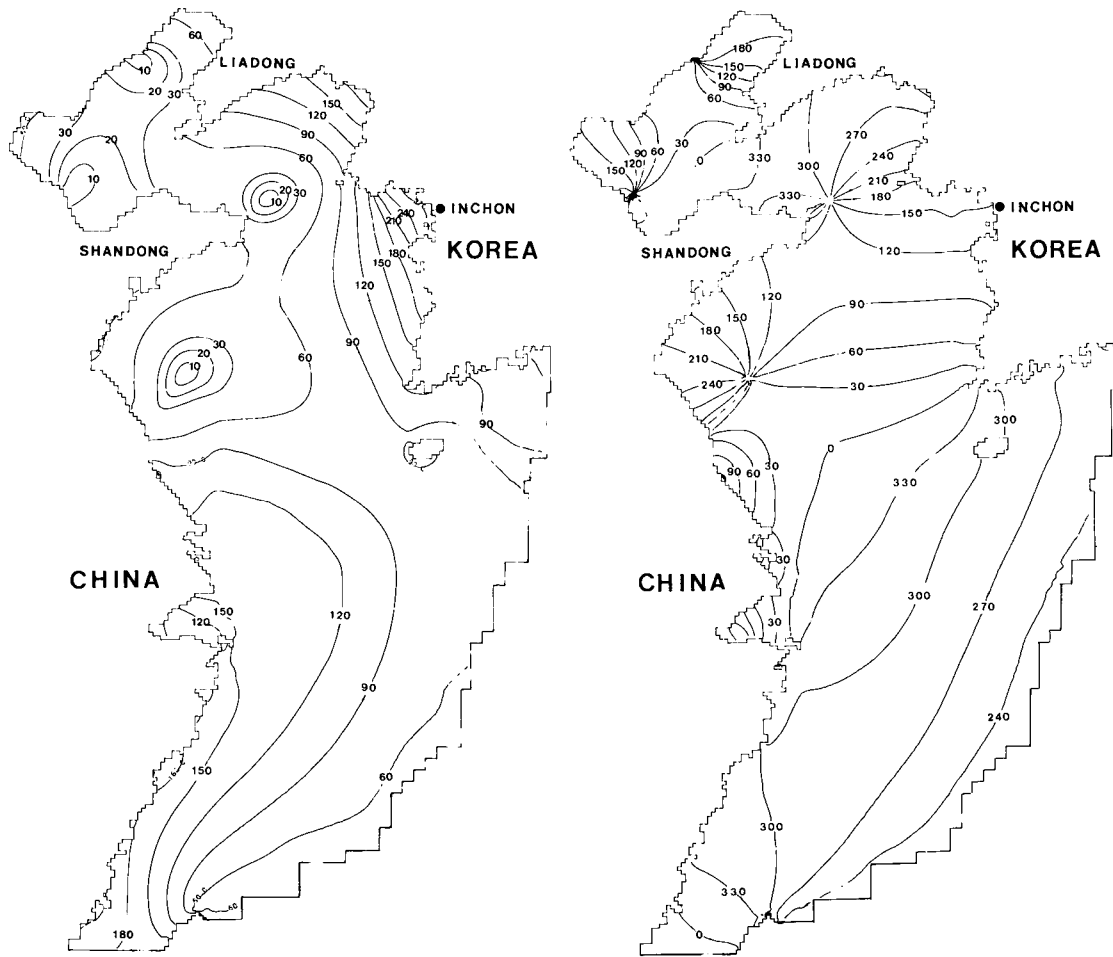
Fig. 11. Computed distribution of maximum bed stress vectors from two-dimensional model.

移動을 하였다. 우리나라 西海岸 北緯 36度上에 投下된 浮標는 1個月 정도의 北東方向의 移動을 하다가 古群山群島에 坐礁되었다.

中國 長江 河口外側의 北緯 31度와 32度 사이에 投下된 浮標는 東北東方向의 빠른 移動에 의해 濟州 海峽을 통과하고 다시 大韓海峽을 통해 쓰가루 海峽 近處인 東海上의 北緯 43度까지 3個月 期間에 移動 하였다.

現在 制限된 觀測과 模型算定結果로서 詳細한 潮汐循環에 대해 言及하기는 어렵지만 上記의 觀測結果를 陸棚의 潮汐循環은 複雜한 樣相을 보이고 있으며 黃海內域에서는 東支那海에 비해 상당히 微弱한 것과 北緯 37度上의 循環도 季節에 관계없이 北側移動이 優勢한 것이 提示된다. 이러한 結果는 黃海에 投入





**Fig. 12.** Computed coamplitude (cm) and cophase (degree referred to 135 deg) lines of the  $M_2$  tide from three-dimensional model.

**Table 3.** Comparison of observed and computed amplitudes (cm/sec) and phases (degree referred to 135°E) for u and v components of  $M_2$  tidal current from the three-dimensional model

Current meter rig	Observed				Calculated				Depth
	u		v		u		v		
	H	K	H	K	H	K	H	K	
B	18.6	26	32.8	168	17.9	42	26.2	163	mid-depth
B	11.3	34	22.4	158	12.9	33	16.2	149	bottom
C	29.5	23	26.0	107	31.5	36	23.6	93	bottom
D	15.2	32	26.1	84	13.9	40	27.7	75	mid-depth
D	15.5	31	17.0	81	9.2	17	19.2	66	bottom
E	20.2	7	25.4	61	18.3	10	28.0	56	bottom
F	5.0	28	40.0	40	8.4	65	43.4	43	mid-depth
F	8.4	350	26.0	11	4.6	16	31.0	34	bottom
I	13.4	132	43.8	19	16.9	144	49.8	23	mid-depth

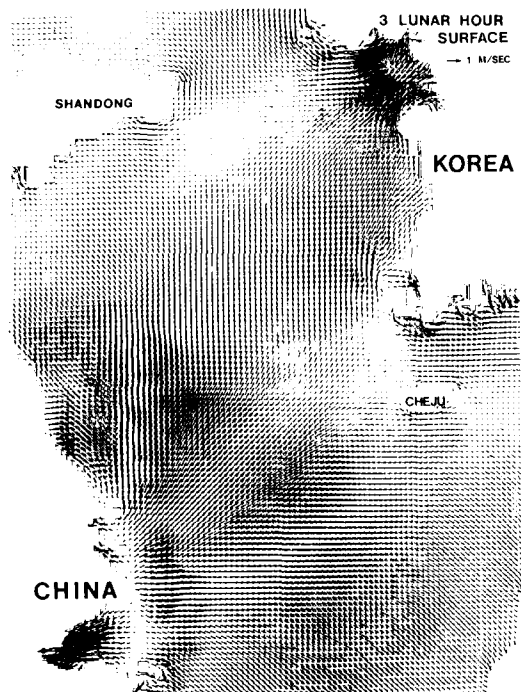


Fig. 13. Computed  $M_2$  tidal current at surface (3 lunar hour) from the three-dimensional model.



Fig. 14. Computed  $M_2$  tidal current at sea-bottom (3 lunar hour) from the three-dimensional model.

되는 汚染物質은 全體의으로 擴散 및 移動이 느릴 것으로 역시 推定되어 放射能 廢棄物의 處理場所로서 西海岸의 外海位置를 선택하는 計劃 등은 物理海洋學的 觀點에서 慎重한 檢討가 必要하다.

### 3.3 最大海底摩擦力 分布와 地質學的 關聯

$M_2$  潮流와 이 分潮의 倍潮인  $M_4$  潮流의 複合現象은 外海域에서는  $M_4$  分潮의 寄與度가 작아 對稱的인 潮流 特性이 나타난다. 反面 淺海에서는 얕은 水深에 基因한 海底摩擦 및 非線型 移流效果에 의해 相對的으로 큰  $M_4$  潮流가 발생하여 非對稱形인 潮流變化가 發生하는데  $M_2$  및  $M_4$  分潮의 複合效果는 位相差에 따라 強한 漲潮(밀물)과 상대적으로 약한 落潮(썰물) 또는 그 반대현상을 발생시킨다. 前회의 研究들(Choi, 1986b ; Pingree and Griffiths, 1979)은 이 複合現象이 陸棚海底土砂의 移動方向을 左右하는데 특히 最大海底 摩擦應力이 潮汐週期를 통해 海底土砂를 移動시키는데 寄與하므로 應力 벡터의 方向이 長期的인 土砂移動 方向이 되며 陸棚上 海底地形으로 가장 뚜

렷한 潮汐沙(砂)州의 形成要因인 것을 發表한 바 있다 (Choi, 1986b). Fig. 11은 模型에 의해 算定된 陸棚 全體에 걸친 最大海底摩擦應力의 벡터로서 前述된 潮汐恒流의 影響까지 本 算定에서는 包含되었다. 우리나라 西海岸의 西韓灣, 京畿灣의 높은 강도의 分岐되는 應力 벡터를 提示하는데 이 海域은 각기 뚜렷한 平行線形沙州와 廣幅의 活性的인 潮汐沙州가 발달된 海域으로 잘 알려져 있다. 韓半島 南側 西海岸의 應力 벡터도 內海側으로 移動을 提示하여 西海岸 河口들의 堆積土의 상당량이 陸棚에서부터 기인하는 것을 提示해 주고 있다. 中國 長江 河口 및 杭州灣 入口 역시 潮汐沙州가 잘 발달된 海域이며 江西北東側의 大長江沙州는 放射能으로서 이러한 海底應力 벡터의 方向과 密接한 影響을 갖고 있다.

각 特徵的인 沙州에 대한 徹底한 現場觀測과 模型 結果를 利用한 國際協力 研究가 現在 遂行 中에 있으므로 別도 보고될 豫定이다. 陸棚上에 投棄되는 汚染物質 中 重金屬, 放射能 核種들은 海底土砂에 包含되어 長期的으로는 提示된 應力方向으로의 移動

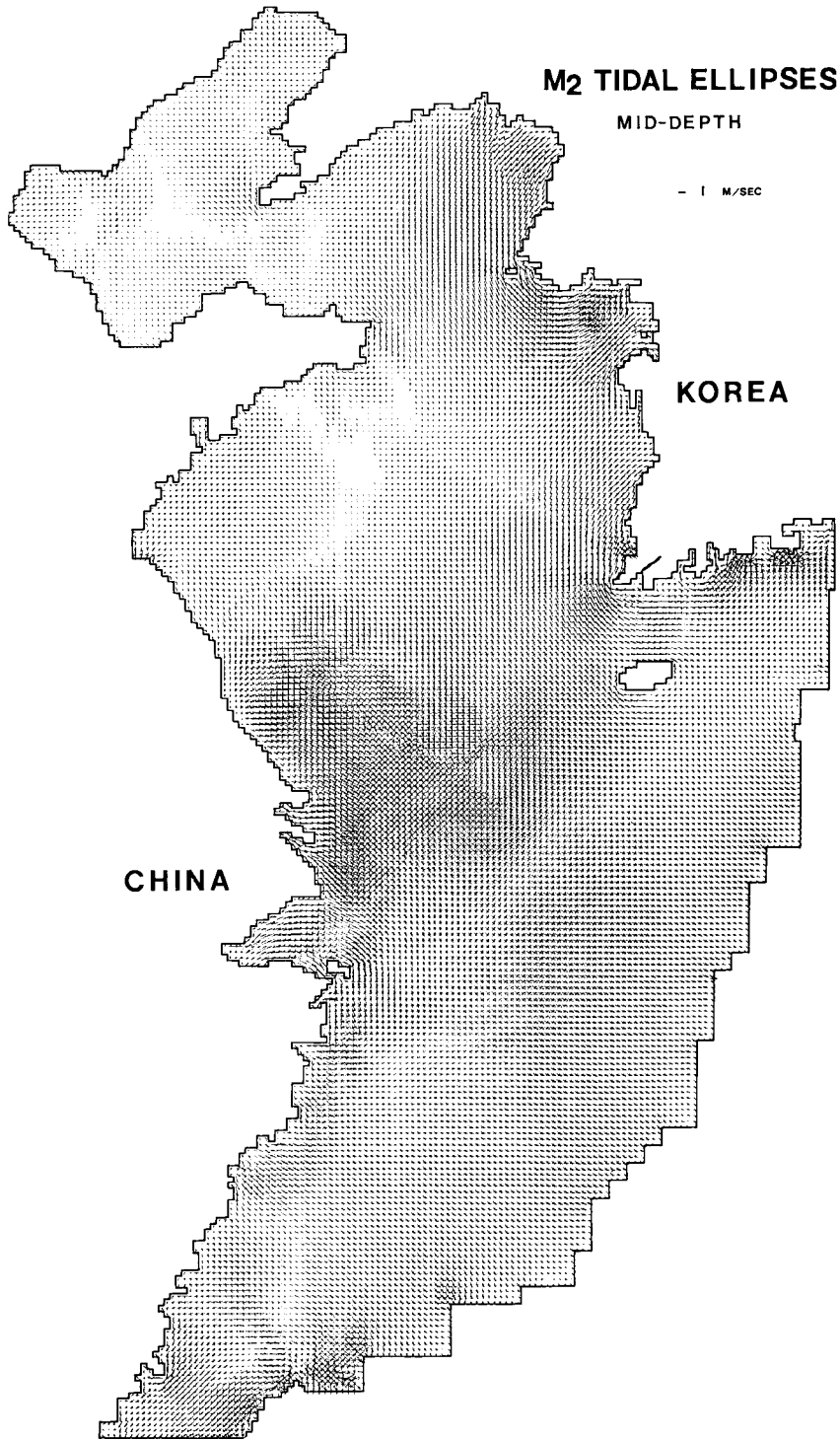


Fig. 15. Computed M<sub>2</sub> tidal current ellipses at mid-depth.

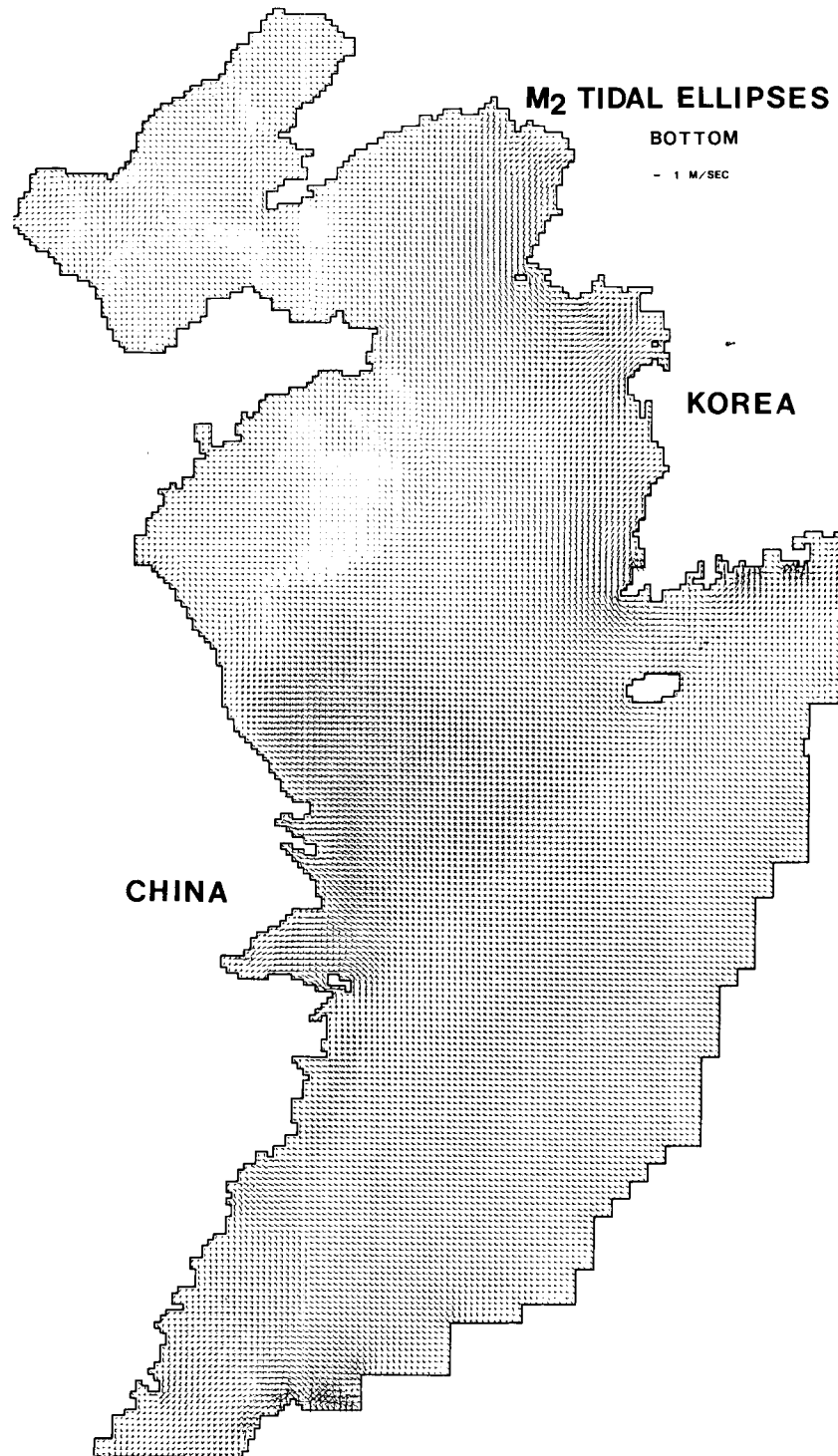


Fig. 16. Computed  $M_2$  tidal current ellipses at sea-bottom.

가능성이 높을 것으로 推定되므로 앞으로 汚染物質의 海中投棄에 關聯한 計劃에는 더 詳細한 堆積力學 過程을 糾明하는 研究가 必要할 것이다.

### 3.4 3次元 潮汐模型

3次元 潮汐模型을 利用한 Fig. 12의  $M_2$  分潮의 等 潮汐圖는 2次元 潮汐模型의 結果와 類似하나 局地的 으로는 位相이 더 現實에 가깝게 算定되었는데 이는 2次元 模型에서 海底剪斷力을 水深平均流速과 關聯 지은 것에 대해서 3次元 模型은 實際物理現象과 同 一하게 海底底層流速과 관련되었기 때문이다. 採擇된 3 次元 潮汐 數值模型은 潮流의 垂直分布를 連續的으로 算定한다. 算定潮流의 檢證은 1986年 1~4月 期間의 韓-美 共同 觀測의 Burst Sampling 流速計 資料의 分析結果와 比較檢討되어 Table 3에 提示되어 있는데 全般的인 一致를 보인다. 提示된 Fig. 13 및 14는 달 (太陰)이 東經 135度 子午線을 經過한 후 3時間 後의 平均潮汐時의 表層과 底層의 潮流分布를 示意하는데 우리나라 京畿灣 및 中國 杭州灣의 강한 潮流는 海底土砂를 移動시키며 또한 泥粘土를 浮游시켜 混濁한 河口環境을 조성한다. Fig. 15 및 16에 提示된 中層과 底層에서의 潮流橢圓圖는 潮流強度와 進行方向을 나타내는데 우리나라 西海岸(西韓灣, 京畿灣) 그리고 中國 長江, 杭州灣 入口 및 外海域의 潮流가 強하며 渤海灣, 遼東灣의 潮流는 相對的으로 弱한 것이 잘 提示되어 있다.

## 4. 結 論

黃海 및 東支那海 陸棚海의 循環力學은 1980年代에 들어 廣範圍한 國際 共同海洋觀測과 CRAY-2S를 利用한 細格子體系의 動的模型의 運用에 의해 비로소 信賴性 있는 科學的인 接近이 可能하게 되었다. 첫 段階로서 動的 模型을 利用한 潮汐體系를 代表하는 主太陰半日週潮의 算定結果를 提示하였다.

陸棚海 沿岸에 大規模 開發事業이 遂行되며 따라서 動的堆積體系 및 關聯 海洋環境이 바뀌므로 이러한 環境體系의 變化를 미리 豫測할 수 있는 方法은 大 容量 컴퓨터에 의한 數值模型이 유일한 技法이며 局地的인 海岸開發을 위한 模型의 樹立에도 本 研究에 提示된 結果를 境界條件으로서 賦與시킬 수 있다.

循環力學에 관한 物理海洋學的인 仔細한 研究는

1986年 1~4月 期間의 完全한 simulation을 土臺로 하여 86年 1月の Acoustic Doppler Current Profiler의 垂直海流觀測 結果와 ARGOS Drifter의 軌跡을 3次元模型에 의한 實時間 算定하여 比較하는 課業이 向後 數年에 걸쳐 遂行될 것이며 模型에 의한 擴散 研究 및 海底境界層의 力學을 調查하는 일이 並行될 豫定인데 이러한 課業은 CRAY-2S와 같은 Supercomputer의 徹底한 利用을 통해서만 可能하다.

## 謝 辭

Fig. 9와 10의 衛星追跡浮標資料는 Woods Hole 海洋研究所의 Richard Limeburner와 Robert Beard- sley에 의해 提供된 것이므로 이에 謝意를 表한다. 本 研究는 89年 CRAY University Grant에 의해 부분 적으로 支援받았다. 86年 韓·美 共同海流觀測은 韓 國科學財團으로부터 支援받았다.

## 參考文獻

- 崔秉昊, 1981. 西海岸 防潮堤建設에 따른  $M_2$  潮汐의 影響. 韓國 科學技術院 海洋研究所 報告書 81-01.
- 崔秉昊, 1984a. 3次元 數值模型을 利用한 東支那海의 定常 均一風의 應力에 의한 海流의 算定. 韓國海洋學會誌 第19卷 第1號, 36-43.
- 崔秉昊, 1984b. 東支那海의 成層 混合모델, 大韓土木學會論 文集, 第4卷 第2號, 125-132.
- Choi, B.H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea, Korea Ocean Research and Development Institute Report 80-02.
- Choi, B.H., 1984a. Preliminary results of a numerical experiment on wintertime circulation in the East China Sea, Journal of Korean Hydrological Sciences, 17(4): 293-302.
- Choi, B.H., 1984b. A three-dimensional model of the East China Sea, In Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas, T. Ichiye, editor, Elsevier Oceanography Series, 39, pp. 209-224.
- Choi, B.H., 1986a. Surge hindcast in the East China Sea, Progress in Oceanography, 17: 177-192.
- Choi, B.H., 1986b. Prediction of sand transport direction of the offshore tidal sand banks in the Yellow Sea, International Association for Hydraulic Research, Proceedings of 5th APD, 231-247.
- Choi, B.H., 1986c. Preliminary results on computation of the sea surface topography over the East China Sea, Proceedings of 7th Asian Conference on Remote Sensing, Oct. 23-28.
- Choi, B.H., Lie, H.J., Park, S.H., Lee, K.T. and Kim, K., 1987. Hydrography of Yellow Sea and East China Sea in Jan. of 1986. Abstracts for Oceano. Soc. Korea.

- Midyear Meeting, 11.
- Davies, A.M., 1980. Application of the Galerkin method to the formulation of a three-dimensional non-linear hydrodynamic numerical sea model, *Applied Mathematical Modelling*, **4**(245).
- Harkema, R. and Hsueh, Y., 1987. A compilation of moored current meter data in the Eastern Yellow Sea January-April 1986, Department of Oceanography, Florida State University, Technical Report CMF-87-01, 147 p.
- Hsueh, Y. and Romea, R.D., 1983. Wintertime winds and coastal sealevel fluctuations in the northeast China Sea, Part I. observations. *J. Phys. Oceanogr.*, **13**: 2091-2106.
- Larsen, L.H., Cannon, G.A. and Choi, B.H., 1985. East China Sea tide current, *Continental Shelf Research*, **4**(1/2): 77-103.
- Ogura, S., 1933. The tides in the seas adjacent to Japan, *Bulletin of Hydrographic Department, Imperial Japanese Navy*, No. 7, 1-189.
- Pingree, R.D. and Griffiths, D.K., 1979. Sand transport paths around the British Isles resulting from  $M_2$  and  $M_4$  tidal interactions, *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **59**: 497-513.
- Robert, K.V. and Weiss, N.O., 1967. Convective difference schemes, *Math. Comput.*, **20**: 272-299.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *Imp. Fish. Exp. St.*, **5**, 47-190.